ISSN 0327-9375

DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD DE TRANSECTA PARA EL RELEVAMIENTO FISONÓMICO-ESTRUCTURAL DE LA VEGETACIÓN DEL SEMIÁRIDO PARA SUMINISTRAR DATOS A LAS TÉCNICAS DE PERCEPCIÓN REMOTA ORBITAL

DETERMINING TRANSECT SIZE FOR THE PHYSIOGNOMIC AND STRUCTURAL REPORT ON THE VEGETATION IN THE SEMI-ARID REGION TO PROVIDE DATA TO ORBITAL REMOTE SENSING TECHNIQUES

Francisco D. Maldonado [1], Vitor C. de Carvalho [2], Clerio L. de Sousa [2], Mariana Martinelli [1], Osman J. Pinheiro Junior [2] y Filipe V. Fernandes dos Santos [2]

[1] Centro de Fotogrametría y Cartografía, Universidad Nacional de San Juan-UNSJ, Argentina
[2] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Ministério da Ciência e Tecnologia-MCT/INPE-Brasil

Resumen

La determinación del tamaño de la transecta es de gran importancia en los proyectos donde se utilizan imágenes, porque generalmente las áreas cubiertas son amplias y el costo del trabajo de campo debe estar equilibrado con el costo total del proyecto. En el presente trabajo fue determinado el tamaño óptimo de transecta para supervisar técnicas de percepción remota. Para esto fue considerada la compleja relación de la vegetación del semiárido con la reflectancia y resolución espacial de las imágenes orbitales TM / Landsat. Se utilizó la información de seis campañas de campo en una amplia región del nordeste brasileño. Luego de haber determinado qué tipo de cobertura vegetal explica mejor los valores de reflectancia de las imágenes, fue determinada la longitud óptima de la transecta del relevamiento de campo, que permite obtener información confiable, para supervisar las técnicas de percepción remota satelital. En una primera fase se determinó estadísticamente que la cobertura vegetal, total y arbórea, explica mejor los valores de reflectancia en las imágenes del visible. Aunque las correlaciones no son altas, en el rango visible, son consistentes para la detección de cambios. A través de los Gráficos de Pearson-Hartley de Función de potencia del Test F se obtuvo que 45 m sería la longitud mínima de transecta. Este tamaño permitiría obtener información relevante de la vegetación de estepas arbustivas abiertas (Caatingas arbustivas) hasta bosques secos (Caatingas arbóreas). Sobre la base de los resultados obtenidos y el tamaño del píxel de las imágenes se recomienda el muestreo con

transectas de 50 m con orientación norte-sur. Este tamaño y orientación permitirá obtener información del terreno con 80% de probabilidad de representar el valor de un píxel TM / Landsat.

Palabras claves: Percepción remota, vegetación, semiárido, relevamiento de campo

SUMMARY

The determination of transect size is of great importance in the projects where Remote Sensing techniques are used. In these projects the covered areas are generally widespread and the cost of the fieldwork must be balanced with the total cost of the project. The optimal transect size to supervise remote sensing techniques is determined in the present work. For this, the complex relationship between the vegetation of semi-arid with reflectance and space resolution of TM/Landsat images was considered . The information of six field campaigns in a large region of the Brazilian northeast was used. Once the type of vegetal cover which better explains the values of reflectance of the images was determined, the optimal transect size of the fieldwork was specified. It allows to obtain reliable data to supervise remote sensing techniques. At a first stage, it was determined that the total and arboreal vegetal cover explains better the values of reflectance in the visible spectral images. Although the correlations are not high, they are consistent for change detection in the visible range. Using the Pearson-Hartley graphics of Power of F Test, it was specified that 45 m would be the minimum length of transect. This size would allow to obtain excellent data from the vegetation of Caatingas abertas (shrub steppes) up to Caatingas arboreas (dry forest). Based on this and the size of pixels of the images, the sampling with transects of 50 m with north-south direction was recommended. This size and direction will allow to obtain data of the land with 80% of probability of representing a TM/Landsat pixel value.

Key words: *Remote sensing, vegetations, semiarid, fieldwork*

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo fue determinar la longitud óptima de transecta utilizada en relevamiento de campo para supervisar las Técnicas de Detección de Cambios con Percepción Remota Orbital. Para esto, primero fue necesario determinar la capacidad de la transecta para explicar el comportamiento radiométrico de la vegetación en las imágenes orbitales TM / Landsat.

Numerosos estudios han demostrado la utilidad de las imágenes TM / Landsat para el análisis y el monitoreo de la cobertura vegetal de las tierras del semiárido. Este sistema de instrumentos orbitales está en funcionamiento desde 1984 y tiene garantizada su continuidad por el programa LATI (Landsat Advanced Tecnology Instrument), que en el futuro mantendrá sus definiciones espectrales y su resolución espacial proporcionando una larga serie de datos consistentes y económicos como estiman Bied-Charreton & Cazaux (1989) y Campbell (1996). Muchos autores actualmente muestran opiniones favorables al uso de Landsat TM para el monitoreo ambiental y para el estudio de los procesos de desertificación, entre ellos puede mencionarse a Mulders

y Epema (1986), Zonneveld (1989), Barrett & Curtis (1992), Choudhury (1992), Changyao, (1993), Pickup y Chewings (1996), Chen & Elvidge (1998) y Carvalho *et al.* (2001) entre otros.

La complejidad espectral de la vegetación de los ambientes semiáridos ha limitado la aplicación de datos de las imágenes. Esta dificultad se debe, en parte, a que los índices espectrales de vegetación están basados en valores de reflectancia del infrarrojo, los que no son confiables en ambiente árido, debido a que están relacionados con la existencia, forma y estructura de las hojas, como presenta Colwel, (1974). Otra dificultad es la alta reflectividad de la superficie del suelo que disminuye la sensibilidad de los instrumentos a la vegetación en áreas de cobertura vegetal menores al 30% (Chavez & McKinon,1994; Brussone & Serpico, 1997).

En ese sentido, el esfuerzo actual de la investigación está orientado al desarrollo de técnicas de percepción remota capaces de minimizar la heterogeneidad del comportamiento espectral de la vegetación, con fines de clasificación y detección de cambios. Asner *et al.* (2000) muestra que en el ambiente árido la variabilidad del comportamiento radiométrico del paisaje en la faja del visible puede atribuirse en 87% a la cobertura arbustiva y el 12% a la superficie del suelo. Según este autor gran parte del esfuerzo del relevamiento debe ser orientado para obtener datos de la cobertura arbustiva para conseguir resultados satisfactorios del análisis de los datos espectrales. En este trabajo se busca una técnica de relevamiento de campo que permita caracterizar fisonómico-estructuralmente a la vegetación, considerando la estructura vertical (estratificación), estructura horizontal (cobertura) de la vegetación y la superficie del suelo para la correlación con el comportamiento radiométrico en el rango visible. El diseño del relevamiento debe optimizarse para muestrear con buena relación costo-beneficio las amplias áreas abarcadas por los proyectos que usan imágenes orbitales.

Material y Método

Área de estudio

El área de estudio es el bioma de la Caatinga, que ocupa el semiárido de la mayor parte del Nordeste de Brasil. Según Velozzo *et al.* (2001) es el más amenazado de los biomas brasileños debido a los centenares de años de uso inadecuado y no sustentable de los suelos y de recursos naturales.

En la Figura 1 se resaltan las seis unidades muestreadas. Estas se limitan a regiones donde domina la vegetación de la Caatinga (formación arbustiva arbórea caducifolia espinosa o sabana estépica, de acuerdo con IBGE, 1997). Se trata de un complejo vegetacional caracterizado por la presencia dominante de especies leñosas espinosas, de follaje generalmente en caducifolio y hojas pequeñas, con elementos arbóreos raramente mayores a los 14 metros y arbustivos con alturas que pueden alcanzar los 4 metros, con biomasas variables desde el tipo estépico: estepa arbustiva hasta Bosque Seco (Bosque estacional deciduo). Siempre con presencia marcada de cactáceas y bromeliáceas de porte herbáceo a arbóreo. Cabrera y Willink (1973) incluyeron la Caatinga en el dominio chaqueño y Schultz (1995) las llamó de estepas florestadas.

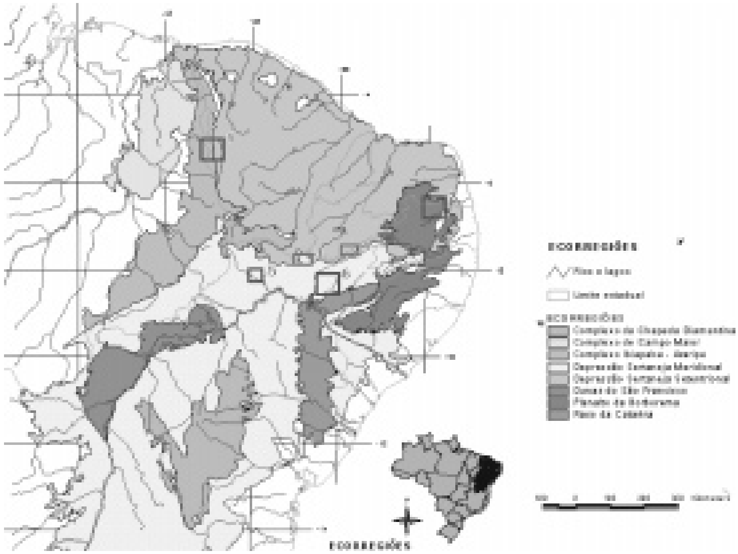


Figura 1. Localización de las unidades de relevamiento en el bioma de la Caatinga. 1) Serra das almas, 2) Curimataú, 3) Cedro, 4) Soledad, 5) Quixaba y 6) Betânia

Figure 1. Location of survey units in the Caatinga biome. 1) Serra das almas, 2) Curimataú, 3) Cedro, 4) Soledad, 5) Quixaba y 6) Betânia

Se realizaron 90 transectas de 50 metros de longitud cada una, localizados con GPS Garmin 12XL con antena externa. El tratamiento de los datos del campo se realizó con el software Trackmaker 11.8 (Ferreira, 2003). Las medidas radiométricas se realizaron en ambiente Spring 6.2 (INPE, 2003) y ERDAS Imagine 8.4, usando seis imágenes Landsat ETM+ en formato digital.

A continuación, en la Figura 2, se presenta el Fluxograma general de la investigación.

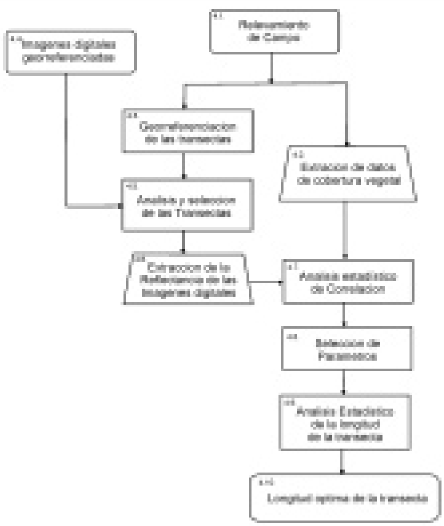


Figura 2. Fluxograma general de la investigación

Figure 2. General research fluxogram

Relevamiento de campo

Para distribuir las muestras en las áreas se utilizó un diseño de muestreo no aleatorio selectivo. Esta técnica es la más apropiada cuando el relevamiento debe ser realizado optimizando la relación costo / beneficio (Cochran,1977). Así, la distribución de las muestras obedece al principio de estratificación sujeta al criterio de proporcionalidad, basado en la delimitación de áreas de interés en las imágenes, como es aconsejado en IBGE (1992). El relevamiento de campo no está orientado al mapeo de comunidades, por esta razón no se exige rigor en la identificación y conteo de todas las especies, solamente cuando son indicadoras de cambios o de la dinámica del sitio. Por tanto, no es necesario un análisis fitosociológico, siendo suficiente la caracterización de la fisonomía, estructura horizontal y vertical de la vegetación, y las condiciones de la superficie del suelo, como señala Küchler (1988), Zonneveld (1988) y Moore & Chapman (1990). IBGE (1992) recomienda para el mapeo de la vegetación de la Caatinga el tamaño normal de muestreo 0,02 hectáreas y la técnica de transecta en línea para la caracterización combinada de la dinámica y de la fisonomía de la vegetación. En su trabajo, Carvalho (1986) usó con éxito para la caracterización fisonómico-estructural de la vegetación del área de Quixabá, una transecta en faja de 40x6m. Maldonado (1999) en esta misma área utilizó una transecta lineal de 40 m, la que consideró apropiada para el Análisis de detección de cambios con percepción remota.

En este trabajo, se ha utilizado un tamaño de transecta en línea de 50m de longitud, con la orientación norte - sur. Este tamaño sobredimensionado permite utilizar los datos del muestreo como control en el tratamiento estadístico de determinación de la longitud óptima de transecta, así como asegura que la muestra representa, con 80% de probabilidad, un píxel TM de 30x30m, permitiendo así relacionar el comportamiento radiométrico del píxel con la muestra de campo. Esta línea se materializa en el terreno con una cinta de 50m, dispuesta en dirección norte-sur y son realizadas metro a metro las anotaciones de las ocurrencias de especie, forma del individuo, estrato, altura y condición de la superficie del suelo. Este procedimiento está ilustrado en la figura 3 y ya fue utilizado con buen rendimiento en Maldonado (2002).

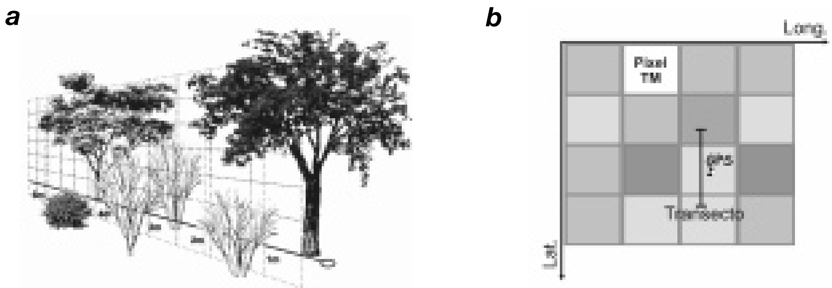


Figura 3. Representación del muestreo y de la probable localización de la transecta de 50 metros sobre los píxeles de una imagen Landsat

Figure 3. Scheme of sample and probable location of the transect on pixels of Landsat image

Obtención de los datos de cobertura vegetal

La cobertura vegetal es analizada de manera simple, a través de la proporción de presencia de cada estrato sobre la totalidad de la cinta. De la misma forma se realizan los cálculos para obtener los porcentajes de suelo desnudo. La cobertura total se calcula como la suma simple de las coberturas arbórea, arbustiva y herbácea. Este valor de cobertura total posee significado volumétrico y permite interpretar las imágenes satelitarias a través de la comprensión de la interacción de la vegetación con la radiación solar, sombras, etc.

Georreferenciación de las muestras

La ubicación precisa de los sitios muestreados es importante cuando los datos de campo se usan combinados a los datos de radiometría de las imágenes. Para este trabajo, el punto central de la transecta se localizó con GPS (Figura 3b). El uso de antena externa y el entorno despejado permitió un error promedio de 10 metros para la estimación de la posición de las muestras en el terreno. Este error de posición combinado al error de registro de las imágenes, aumenta la incertidumbre de la correspondencia píxel / transecta. De acuerdo con Bernstein (1983) y Dai & Khorram (1998), esta confiabilidad disminuye a medida que aumenta la heterogeneidad de la reflectancia de los píxeles en la región de la imagen donde se localiza la muestra.

Imágenes digitales georreferenciadas

Estas imágenes se forman con la banda espectral TM3, situada en el espectro óptico correspondientes a la faja del rojo entre 0,6 y 0.7 μm. Las imágenes están formadas por una matriz de píxeles, siendo éstos las unidades menores de la imagen. Cada píxel, representa una unidad discreta de área en el terreno, de la cual el flujo radiante es integrado por un detector. Esta matriz de píxeles es georreferenciada sin modificar los valores de reflectancia utilizando la técnica de remuestreo del vecino más próximo, lo que hace posible establecer una correspondencia entre los datos obtenidos en el relevamiento de campo y los de reflectancia de las imágenes georreferenciadas.

Análisis y selección de transectas

Este análisis está basado en la incertidumbre de la posición de las muestras sobre los píxeles de la imagen y en la heterogeneidad de la radiometría de los píxeles vecinos a éstas. Las muestras fueron categorizadas en más o menos confiables, en cuanto a su relación datos de campo / radiometría. Cuanto mayor la heterogeneidad entre píxeles, menor la confiabilidad para correlacionar los datos de reflectancia y los del relevamiento de campo. Así, las muestras con baja confiabilidad fueron descartadas.

Extracción de la reflectancia en las imágenes digitales

Para realizar un estudio cuantitativo entre imágenes, fue necesario transformar los números digitales en valores de reflectancia según Chávez (1989) y Chávez (1996). El trabajo con los valores del visible corregidos es la única forma de obtener buenos resultados en el estudio de la vegetación de los ambientes semiáridos, según Bowker

& Davis (1992), Bruzzone & Serpico (1997), Trodd & Dougill (1998) y Asner *et al*. (1998, 2000).

Análisis estadístico de correlación

Los datos de la cobertura vegetal obtenidos de las transectas fueron correlacionados con la reflectancia del punto muestral de la imagen, procurando la mejor combinación cobertura / reflectancia que explique el comportamiento radiométrico de las imágenes.

Selección de los parámetros

Se seleccionaron los parámetros que mejor explican el comportamiento de la reflectancia. Aquellos que presentaron los mayores coeficientes de correlación con los valores de reflectancia. Las correlaciones más positivas o negativas son las que expresan una relación causal mayor con la reflectancia del sitio muestreado. A priori, se espera que la cobertura vegetal presente correlación negativa con la reflectancia y que el suelo expuesto presente valores positivos.

Análisis estadístico de la longitud de la transecta

Este análisis está dividido en dos partes, una primera exploratoria basada en la simple observación de los cambios del coeficiente de variación (CV) de cada cobertura, frente a los cambios en la longitud de la cinta usada para el muestreo. Este coeficiente CV es una estandarización de la varianza que permite comparar las estimaciones de variabilidad sin tener en cuenta la magnitud, en este caso los porcentajes de cada tipo de cobertura. Para este análisis, la totalidad de las muestras se analizan metro a metro, suponiendo que en sucesivas campañas de muestreo la longitud de la transecta fue aumentada, desde una primera con transectas de 1m, hasta la última campaña con transectas de 50m. La estabilización de este coeficiente indica que la media y varianza muestral se han estabilizado y que han sido obtenidos parámetros muestrales que pueden estimar satisfactoriamente a los poblacionales, según Eberhardt (1990) y Reed *et al.* (2002).

En una segunda parte del análisis, la longitud de la transecta es analizada como un conjunto de muestras puntuales a cada metro. Y para cada una de las seis áreas fue tomada solamente una transecta. En este test se desea comparar cada área, siendo la hipótesis nula (H_0) que todas las áreas son iguales y la alternativa (H_1) que por lo menos una es diferente. Para este test los parámetros iniciales fueron obtenidos de la totalidad del muestreo. El principal parámetro calculado, F es una medida de no centralidad, dependiente del error cuadrático de todas las muestras de referencia y del número de áreas a ser comparadas por la hipótesis. También, deben ser definidas las probabilidades deseadas para controlar los errores de inclusión (Tipo I) y exclusión (Tipo II). De este modo fue extraído el tamaño mínimo de la muestra del gráfico Pearson-Hartley de potencia del test F, graficados en Feldt & Mahmoud (1958) citados por Netter *et al.* (1996).

Resultados y discusión

La variabilidad de la Caatinga por cobertura, por estrato y por grado de suelo expuesto

Se puede generalizar que la vegetación muestreada con transectas se caracteriza por tener una cobertura arbórea variable de 0 a 100%, con media en torno a 40%, variando generalmente entre 30 a 80%; un estrato arbustivo siempre presente y siempre mayor del 30% y en media en torno al 60%, variando ampliamente entre 30 a 85%; la cobertura herbácea frecuentemente faltante con valores medios en torno de 55%, más concentrada de 40 a 80%; y la proporción de suelo expuesto en general variando de 0 a 20% y con 40% como máximo. Sumando estos valores se puede decir que la cobertura total fue siempre superior al 90%, teniendo como máximo 250% y concentrándose en general entre 120 a 180%.

Influencia de la cobertura sobre la reflectancia

En la Figura 4 se presenta la dispersión de los valores de reflectancia del píxel relativo a la cobertura de los diferentes estratos vegetales. Como se puede observar la dispersión de los valores es muy grande.

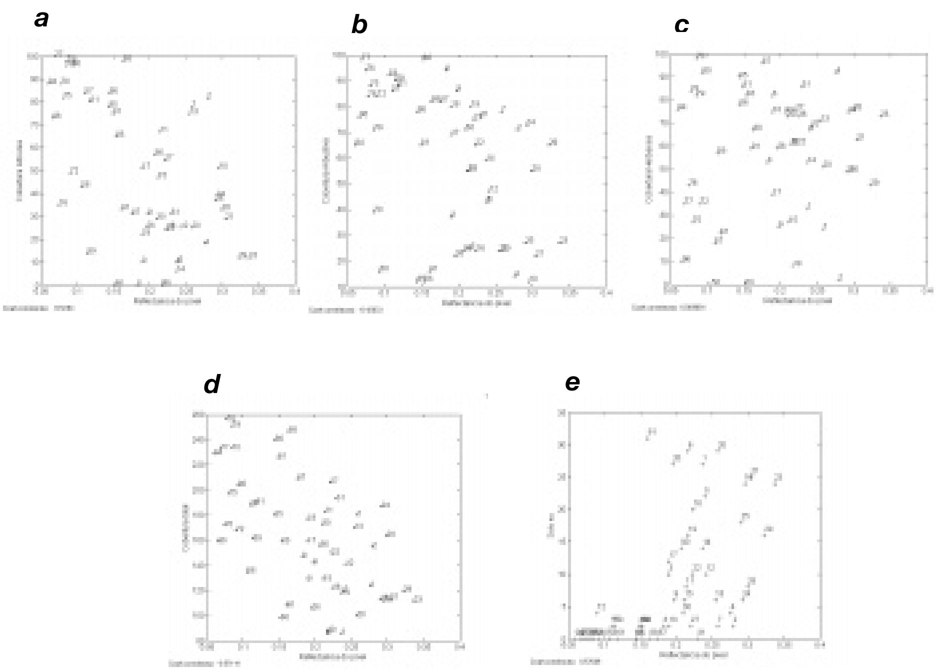


Figura 4. Dispersogramas de cobertura vegetal sobre reflectancia de la imagen. Donde: a) cobertura arbórea; b) cobertura arbustiva; c) cobertura herbácea; d) cobertura total y e) suelo desnudo

Figure 4. Dispersograms of plant cover on image reflectance. Where: a) tree cover, b) shrub cover, c) herb cover, d) total cover, and e) uncovered soil

Resumiendo los resultados de este análisis en la Tabla 1 se observa más fácilmente que los coeficientes de correlación entre la reflectancia de las clases de coberturas fueron bajos, considerando que las imágenes fueron obtenidas en la época seca, donde se esperaba mayor correlación. El signo negativo de la correlación indica que la reflectancia aumenta con la disminución de la cobertura, como se observa con la cobertura total, arbórea y arbustiva.

Tabla 1. Datos estadísticos de cobertura, media, desvío estándar y correlación con valores de reflectancia
Table 1. Statistical data on cover, mean, standard deviation and correlation with reflectance values

Tipo de cobertura	Media [%]	Desvío estándar [%]	Coeficiente de Correlación	Error cuadrático medio
Cobertura Arbórea	46.41	31.52	-0.528	193.13
Cobertura Arbustiva	58.11	27.83	-0.426	183.24
Cobertura Herbácea	56.69	26.82	0.069	194.88
Cobertura Total	161.20	159.10	-0.571	277.06
Suelo expuesto	8.33	9.75	0.576	58.05

La clase "suelo expuesto" explica 57,6% mostrando la importancia relativa de su contribución en el comportamiento espectral de la Caatinga. La importancia del suelo desnudo sobre el comportamiento radiométrico del visible, puede ser explicada por la alta reflectancia de la superficie del suelo, seco y pobre en materia orgánica como apuntan Baumgardner *et al.* (1970) e Pinker & Karnieli (1995). En términos absolutos todos los valores de correlación observados son bajos, lo que ya fue observado por Asner (2001). Las clases Cobertura total (-57.1%), Cobertura arbórea (-52.8%) y Cobertura arbustiva (-42.6%) explican débilmente los valores de reflectancia. Se esperaba que el peso del estrato arbustivo se manifestara de manera más evidente, considerando que en los relevamientos de campo se observó que este es el que produce las mayores modificaciones ambientales. Este estrato es muy productivo y además de su propia biomasa produce abundante mantillo. La contribución del estrato herbáceo en la Caatinga es insignificante y no correlacionado. Estos resultados confirman, de una manera general, el comportamiento esperado de la Caatinga en términos de comportamiento espectral, incluso en términos de jerarquía de importancia de los estratos, en función de su mayor o menor influencia sobre la reflectancia registrada en la imagen satelitaria.

Análisis de la longitud de la transecta

Establecidos los parámetros de campo más importantes, fue determinada la longitud óptima aproximada de la transecta. Para esto fueron analizadas las curvas de coeficientes de la variación (CV) de las cuatro clases de cobertura vegetal, en

función de la longitud de la transecta (Figura 5). Se observa fácilmente que el CV aumenta rápidamente y pronto se estabiliza. Esto sucede por la estabilización de la media y la variancia e indica que se ha conseguido relevar la variabilidad de la cobertura vegetal estudiada.

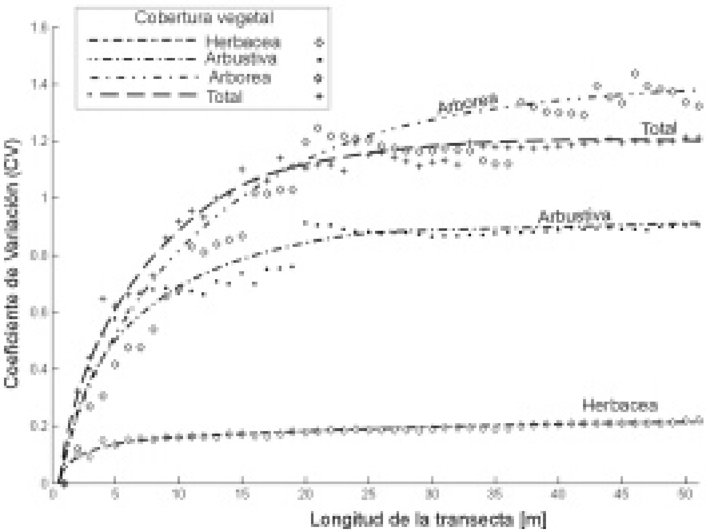


Figura 5. Estudio del Coeficiente de variación (CV); a) CV de la cobertura arbórea, b) CV de la cobertura arbustiva, c) CV de la cobertura herbácea, d) CV de la cobertura total

Figure 5.. Study of Variation coefficient (CV); a) tree cover CV, b) shrub cover CV, c) herb cover CV, d) total cover CV

El comportamiento observado está dentro de lo esperado, la curva del estrato herbáceo se estabiliza rápidamente; la curva del estrato arbustivo se estabiliza luego, alrededor de los 20 metros; la cobertura total alrededor de los 25 metros y la cobertura arbórea alrededor de los 50m presenta fuerte tendencia a la estabilización. Considerando que la cobertura total es la que mejor explica el comportamiento radiométrico de la Caatinga y que su CV se estabiliza alrededor de los 25 metros, puede admitirse que la longitud óptima, sea un poco mayor que esta medida. Aunque, teniendo en cuenta las experiencias anteriores en Carvalho (1986) y Maldonado (1999), una longitud de 40 metros puede ser más apropiada para caracterizar la estructura de la vegetación en términos de relación costo / beneficio.

Determinación estadística de la longitud mínima de la transecta

La longitud obtenida usando los gráficos de Pearson-Hartley fue de 45 m (o 45 muestras). Esta es la longitud mínima que permitiría obtener información fisonómico-estructural confiable de todas las áreas, desde estepas arbustivas hasta arbóreas.

Este cuidado para determinar la longitud mínima de la transecta es debido a que

el aumento de la longitud de la transecta produce un aumento mayor en el tiempo necesario para el relevamiento; este aumento es agravado cuando la cobertura vegetal es alta. Por ejemplo, una transecta de 50 metros en área degradada demandó 15 minutos y en áreas de Bosque hasta 90 minutos.

La consideración final para definir la longitud óptima de transecta, está relacionada con la resolución espacial de las imágenes satelitales usadas. En el caso del uso de resoluciones espaciales de 30x30m, como las de TM, la longitud de 50 m tiene una probabilidad de 80% de representar un sitio cuya reflectancia está integrada en un píxel, una longitud menor posee una probabilidad baja y una longitud mayor podría contener hasta dos píxeles, lo cual en las áreas degradadas representa una desventaja.

Conclusiones y Recomendaciones

Del análisis de estos resultados puede concluirse que la longitud recomendada para la transecta es de 50 m. Así, puede ser caracterizada la heterogeneidad de la vegetación y explicada la reflectancia del píxel de las imágenes TM / Landsat. Esta longitud puede reducirse al mínimo de 45 m, cuando se usan imágenes de resolución espacial mayor, como ocurre actualmente con el uso de imágenes SPOT o ASTER (15m). También puede concluirse que la cobertura vegetal total es la que mejor explica la radiometría de las imágenes del espectro visible, al menos en la época seca. Sin embargo, los valores de correlación bajos entre la cobertura y la reflectancia, indican la obligación de incluir en el análisis otros factores ambientales. La confiabilidad de la correspondencia campo / imagen podría ser mejorada aumentando la precisión de la posición del GPS, o aumentando la longitud de la transecta. Aunque, esto último posee serias desventajas; por ejemplo 60m permitiría contener con certeza en un píxel completo TM / Landsat, pero también aumentaría el tiempo de medición.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundação de Amparo a la Pesquisa del Estado de São Paulo - FAPESP/Brasil que financió la campaña de campo a través de un Projeto Regular de Auxilio à Pesquisa. El primer autor es becario de doctorado de la Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior - CAPES/Brasil.

BIBLIOGRAFÍA

ASNER G.P., C.A. WESSMAN & D.S. SCHIMEL, 1998. Heterogeneity of savanna canopy structure and function from imaging spectrometry and inverse modeling. *Ecological Applications* 8 (4): 1022-1036.

ASNER,G.P., C.A. WESSMAN, C.A. BATESON & J.L. PRIVETTE, 2000. Impact of Tissue, Canopy, and Landscape Factors on the Hyperspectral Reflectance Variability of Arid Ecosystems. *Remote Sensing of Environment* 74 (1): 69-84.

BARRETT, E.C. & L.F. CURTIS, 1992. Ecology, conservation and resource management. *In*: Barrett, E.C. & L.F. Curtis (eds.) *Introduction to Environmental Remote Sensing*. 3rd ed. p.304-324. London: Chapman & Hill.

BAUMGARDNER, M.F., S.J. KRISTOF, C.J. JOHANNSEN & A.L. ZACHARY, 1970. Effects of organic matter on the multiespectral properties of soils. *Proceedings of the Indiana Academy of Science* 1 (79): 413-422.

BERNSTEIN, R., 1983. Image geometry and rectification. *In:* R.N. Colwell (ed.) *Manual of Remote Sensing*, 2nd ed. Virginia. American Society of Photogrammetry.

BIED-CHARRETON, M. & J. CAZAUX, 1989. Economic Interest of Remote sensing techniques. *Proceeding Remote Sensing for Development International Conference*. Berlin. Albertz and Tauch.

BOWKER, D.E. & R.E. DAVIS, 1992. Influence of atmosferic aerosols and desert reflectance properties on satelite radiance measurements. *International Journal of Remote Sensing* 13 (16): 3105-3126.

BRUZZONE, L. & S.R. SERPICO, 1997. Detection of changes in remotely-sensed images by the selective use of multi-spectral information. *International Journal of Remote Sensing* 18 (18): 3883-3888.

CABRERA, A.L. & A. WILLINK, 1973. *Biogeografía de América Latina*. Washington: OEA, 117 pp.

CAMPBELL, J.B., 1996. *Introduction to Remote Sensing.* 2nd ed. New York:The Guilford Press, 622 pp.

CARVALHO, V.C., 1986. Structure et dynâmique de la vegetation en milieu tropical semi-aride. La Caatinga de Quixabá (Pernambouc, Brésil) du terrain a l'analyse des données MSS/ Landsat. São José dos Campos. 332p. (INPE-4049-RPE/524). Tesis (Doctorat) - Université de Toulouse-Le Mirail. INPE.

CARVALHO, V.C., C.A. LINHARES, R.J. RIVERA-LOMBARDI, M.J. GLERIANI, P.M. GRAÇA, R.C. OLIVEIRA, A.G. AFFONSO & J.R. SANTOS, 2001. Estado da arte nas aplicações de sensoriamento remoto para o estudo da vegetação: análise por blocos de países e linhas de pesquisa. [CD-ROM]. *Simposio Brasileiro de Sensoriamento remoto* 10, Foz do Iguazu, 2001. Anais. São José dos campos: Fabrica da Imagem.

CHANGYAO, W., 1993. Desertification Reserch Using Remote Sensing and Geographical Information System. *Proceeding International Symposium, Remote Sensing and Global Environmental Change*, Austria.

CHAVEZ, P.S., 1989. Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper multispectral images. *Photogrammetry Engineering & Remote Sensing* 55 (9): 1285-1294.

CHAVEZ, P.S. & D.J. MACKINNON, 1994. Automatic detection of vegetation changes in Southwes United States using remotely sensed images. *Photogrametric Engineering & Remote Sensing* 60 (5): 571-583.

CHAVEZ, P.S., 1996. Image-based atmospheric corrections - revisited and improved, *Photogrammetry Engineering & Remote Sensing* 62 (9): 1025-1036.

CHEN, Z., C.D. ELVIDGE & D.P. GROENEVELD, 1998. Monitoring Seasonal Dynamics of Arid Land Vegetation Using AVIRIS Data. *Remote Sensing of Environment* (65): 255-266.

CHOUDHURY, B.J., 1992. Multiespectral satellite observations for arid land studies. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 47: 101-126.

COLWEL, 1974. Vegetation canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment* 3 (3): 175-183.

COCHRAN, W.G., 1977. *Sampling techniques*. 3ed. New York: John Wiley & Sons, 428 pp.

DAI, X.L. & S. KHORRAM, 1998. The effects of image misregistration on the accuracy of remotely sensed change detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 36 (5): 1566-1577.

EBERHARDT, K.R.,1990. Survey sampling methods. *In*: Wadsworth, H.M. (ed.) *Handbook of statistical methods for engineere and scientists*, Ed: McGraw-Hill. New York.

FELDT, L.S. & M.W. MAHMUOD, 1958. Power Function charts for especific number of observations in Analyses of Variance of Fixed Effects. *The Annals of Matematical Statistic* 29: 871-877.

FERREIRA, O., 2003. Communication Program for GPS and Data Treatment. <www.gpstm.com>.

FULLER, D.O., S.D. PRINCE & W.L. ALTLE, 1997. The influence of Canopy on Remote Sensed observations of Savanna-woodlands. *International Journal of Remote Sensing* 18 (140): 2985-3009.

GOEFFREY, M. H., 1997. Detecting change in grasslands using measures of spatial dependence whit Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment* 46 (4): 223-234.

GOLDSMITH, F.B. & C.M. HARRISON, 1976. Description and analysis of vegetation. *In*: Chapman (ed.) *Methods in plant ecology*. Oxford: Blocnel Scientific..

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE., 1992. Manual Técnico da vegetação Brasileira. *Serie Manuais Técnicos em Geociências*. Rio de Janeiro: FIBGE, 92p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA –IBGE, 1997. Recursos naturais e meio ambiente: uma visão do Brasil. Rio de Janeiro: FIBGE, 208 pp.

INPE, 2003. Geoprocessamento e Informática. SPRING: Sistema de processamento de informações georreferenciadas. São José dos Campos, v.2.

KÜCHLER A.W., 1988. A Physionomic and Structural Analysis of vegetation. *In*: Lieth, H. (ed.) *Handbook of vegetation science. Vegetation Mapping*, Cap.4. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

MALDONADO, F.D., 1999. Análise por componentes principais (ACP) na caracterização da dinâmica do uso da terra em área do semi-árido brasileiro: Quixaba – PE. Brasil. São José dos Campos, INPE. (Tese de mestrado em Sensoriamento Remoto -INPE). PI (INPE-7180-TD/680), 116 pp.

MALDONADO, F. D., J.R. SANTOS & V.C. CARVALHO, 2002. Land use dinamics in the semi-arid region of Brazil (Quixabá-PE): caracterization by principal components analysis. *International Journal of Remote Sensing* 23 (23): 5005-5013. Londres: Taylor & Francis.

MILTON, O., S.L. SMITH, J.B. USTIN, J.B. ADAMS & A.R. GILLESPE, 1990. Vegetation in Deserts I: A regional measure of abundance from multiespectral images. *Remote Sensing of Environment* 31 (1):1-26.

MOORE, P.D. & S.B. CHAPMAN, 1990. *Methods in plant ecology*. London: Blackwell Scientific. 589 pp.

MULDERS, M.A. & G.F. EPEMA, 1986. The thematic mapper: a new tool for soil mapping in arid areas. *ITC Journal* 1: 24-29.

NETER, J., M.H. KUTNER, C.J. NACHTSHEIM & W. WASSERMAN, 1996. *Applied linear statistical models*. Boston: McGraw-Hill, 1408 pp.

PICKUP, G. & V.H. CHEWINGS, 1996. Identifying and measuring land degradation processes using remote sensing. *In*: Hill, J. & D. Peter (eds.) *The use of remote sensing for land degradation and desertification monitoring in the Mediterranean basin. State of the art and future research*. Luxemburgo: Official Publications of European Communities.

PINKER, R.T. & A. KARNIELI, 1995. Characteristic spectral reflectance of a semi-arid environment. *International Journal of Remote Sensing* 16 (7): 1341-1362.

REED, G.F., F. LYNN & B.D MEADE, 2002. Use of Coefficient of Variation in Assessing Variability of Quantitative Assays. *Clinical and Diagnostic Laboratory Immunology* 9 (6): 1235-1239.

SCHULTZ, J., 1995. *The ecozones of the world. The ecological Division of the Geosphere*. Berlin. Springer-Verlag. 189f. 48t.

TRODD, N.M. & A.J. DOUGILL, 1998. Monitoring vegetation dynamics in semi-arid African rangelands - Use and limitations of Earth observation data to characterize vegetation structure. *Applied Geography* 18 (4): 315-330.

VELLOSO, A.L., E.V.S.B. SAMPAIO & F.G.C. PAREYN, 2002. Ecoregiões: Propostas para o bioma Caatinga. Resultados do Seminário de Planejamento Ecorregional da Caatinga, Aldeia-PE, 28 a 30 de novembro de 2001. PNE- Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental, The Nature Conservancy do Brasil.

ZONNEVELD, I.S., 1988. Environmental indication. *In*: Lieth, H. (ed.) *Handbook of vegetation science. Vegetation Mapping*. Cap.36. Netherlands, Kluwer Academic Publishers.

ZONNEVELD, I.S., 1989. Landscape survey and evaluation. *Journal of Arid Environment* 17 (2): 255-264.

Recibido: 11/2003
Aceptado: 09/2004